บทที่ 4

ทฤษฎีและแบบจำลองที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษานี้เป็นการต่อเชื่อมกันระหว่างแบบจำลองชลศาสตร์กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยแบบจำลองชลศาสตร์ที่ใช้ คือ HYDROWORKS SOFTWARE ซึ่งแบบจำลองนี้เหมาะสมกับระบบระบายน้ำในพื้นที่เขตเมืองที่มีความลาดชันของพื้นที่น้อย สามารถคำนวณหาค่าระดับน้ำในช่วงเวลาต่างๆ และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ใช้ คือ ArcView GIS ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถใช้เก็บข้อมูลพื้นฐานต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวและแสดงผลเป็นแผนที่ได้ ดังนั้นจะกล่าวถึงแบบจำลองและทฤษฎีที่ใช้ต่อไป

4.1 แบบจำลองชลศาสตร์ HYDROWORKS SOFTWARE

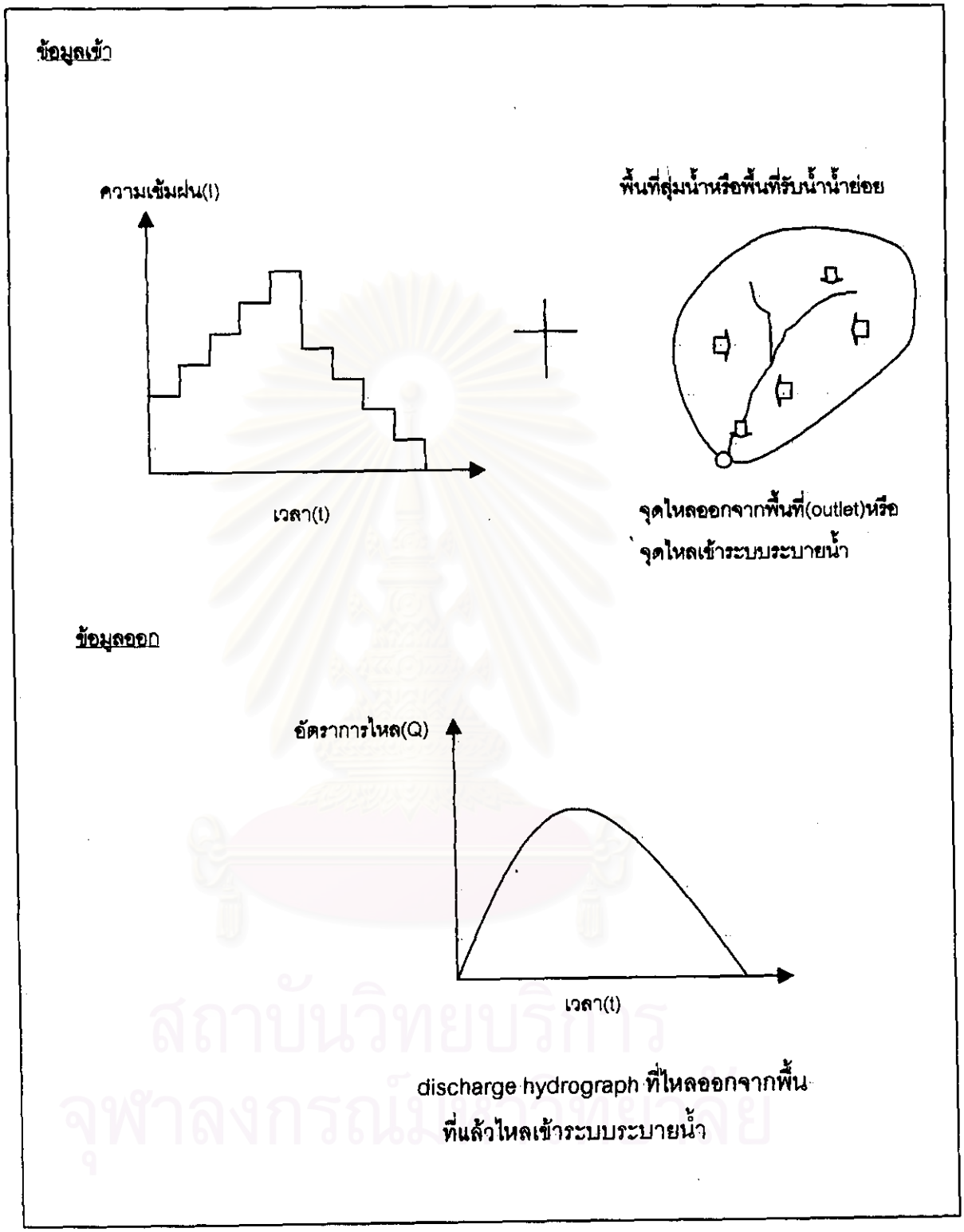
4.1.1 ทฤษฎีของแบบจำลองชลศาสตร์ Hydroworks

แบบจำลองชลศาสตร์ Hydroworks เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (rainfall-runoff) และแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (hydrodynamic) แบบจำลองนี้ใช้ในการจำลองพฤติกรรมของการไหลแบบไม่คงที่ (unsteady flow) ภายในระบบระบายน้ำ

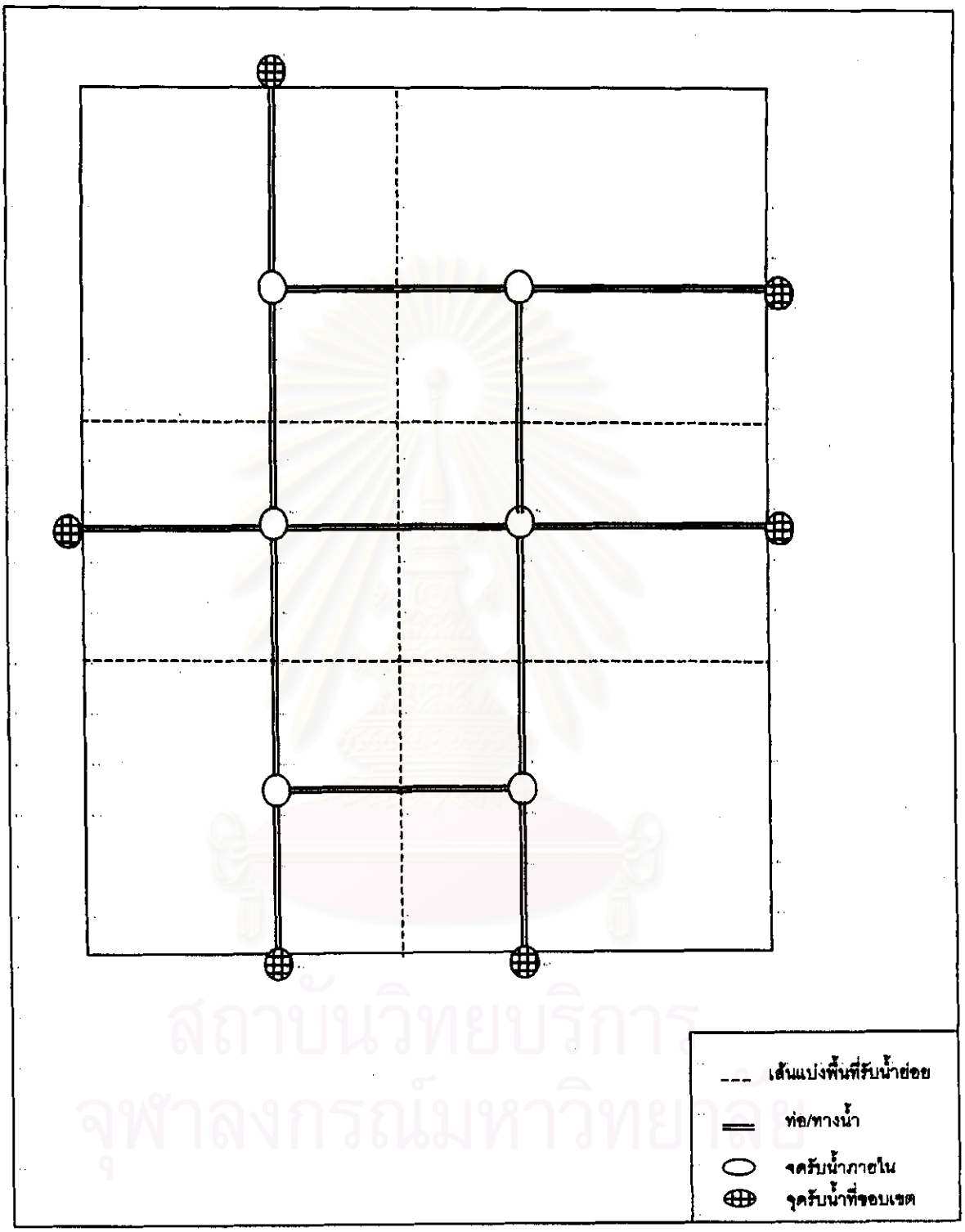
แบบจำลองชลศาสตร์ Hydroworks ประกอบด้วยแบบจำลองย่อยๆดังนี้

1.) แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ใช้ในการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกจากพื้นที่รับน้ำเข้าสู่ระบบระบายน้ำ ดังรูปที่ 4.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



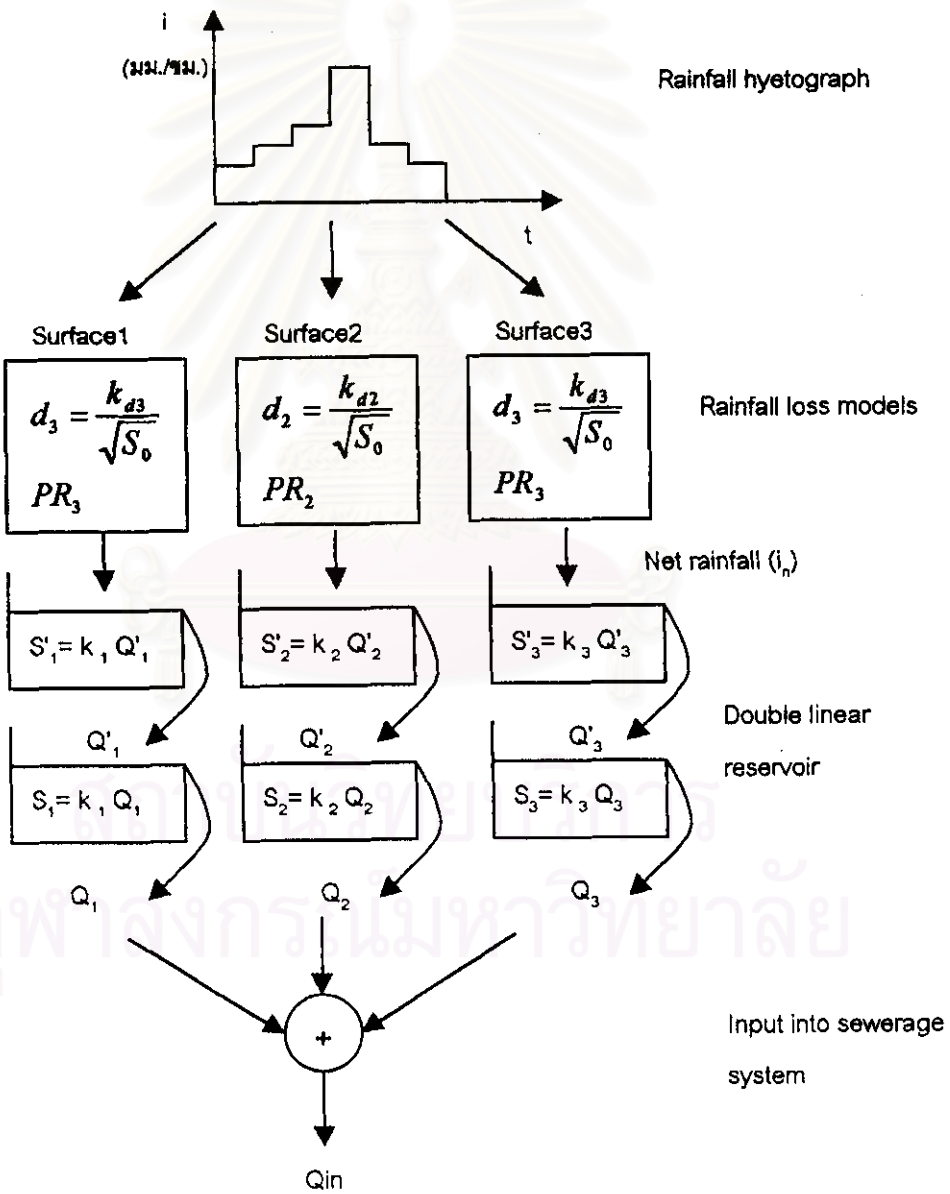
รูปที่ 4.1 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (rainfall-runoff model)



รูปที่ 4.2 การปรับแบ่งพื้นที่รับน้ำย่อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ใช้ในการหาปริมาณน้ำท่า (runoff) จากปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่รับน้ำ เป็นข้อมูลปริมาณน้ำไหลที่อธิบายเกี่ยวกับสภาพพื้นที่รับน้ำ และใช้เป็นข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าสู่ระบบระบายน้ำต่อไป สำหรับพื้นที่รับน้ำในแบบจำลองถูกแบ่งเป็นพื้นที่รับน้ำย่อยๆ ตามประเภทลักษณะการใช้ที่ดินและทิศทางการไหลของน้ำ ดังรูปที่ 4.2 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า อธิบายปรากฏการณ์ของน้ำท่า เริ่มตั้งแต่น้ำฝนที่ตกลงมาในช่วงแรกจะถูกขังอยู่ในหลุม บ่อ ตามพื้นดิน ซึ่งเรียกว่า initial losses (depression storage) และมีการซึมผ่านผิวดินของน้ำลงไปในดิน เรียกว่า continuing losses (infiltration) เมื่อฝนตกต่อไป พื้นผิวดินจะมีน้ำปกคลุม ในขณะเดียวกันการไหลจะเริ่มขึ้นโดยมีทิศทางไปตามความลาดชันของพื้นผิวดิน เรียกว่า overland flow routing จนกว่าจะเข้าสู่ระบบระบายน้ำ โดยสมมติให้มีพื้นผิว 3 ชนิดในพื้นที่รับน้ำเดียวกัน ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงแบบจำลองอุทกวิทยา

การคำนวณของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานได้ ดังนี้

1.) ข้อมูลการกระจายตัวของฝนตามเวลา (i) เช่น ความลึก, ความเข้มของฝนเหตุการณ์จริงหรือฝนออกแบบ

2.) การคำนวณหาค่าอัตราการสูญเสีย

2.1) ค่าความลึกเก็บกัก (depression storage) โดยขึ้นอยู่กับประเภทของดิน, พืชปกคลุมและ ความลาดชันของพื้นที่ ได้ดังนี้

$$d = \frac{k_d}{\sqrt{S_0}} \tag{4.1}$$

เมื่อ d = ค่าเฉลี่ยความลึกของ initial losses (ม.)

S_0 = ความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ (ม./ม.) โดยมีค่าของโปรแกรมเท่ากับ 0.05

k_d = ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดให้ (ม.)

2.2) ค่าความซึมผ่านผิวดิน (infiltration, PR) กำหนดให้เป็นค่าอัตราเฉลี่ยคงที่ ซึ่งเกิดหลังจากที่มีการสูญเสียค่าความลึกเก็บกัก การกำหนดค่าความซึมผ่านของแต่ละพื้นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพการใช้ที่ดิน เช่น ชนิดของดิน, ความชื้นในดิน, พืชปกคลุม และฤดูกาล เป็นต้น

2.3) การคำนวณหาค่าปริมาณฝนสุทธิ (net rainfall, i_n) จากสมการสมดุลของมวลน้ำ (water balance) ได้ดังนี้

วิธีที่ 1

$$i_n = i - d - PR \tag{4.2a}$$

วิธีที่ 2

$$i_n = C^* i \tag{4.2b}$$

เมื่อ i_n = ปริมาณฝนสุทธิ (มม./ชม.)

i = ปริมาณฝนทั้งหมด(มม./ชม.)

d = ค่าเฉลี่ยความลึกของ initial losses (ม.)

PR = ค่าความซึมผ่านผิวดิน

C = ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าที่ขึ้นอยู่กับการใช้ที่ดินของจุดรับน้ำ

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีที่ 2 ในการหาค่าปริมาณฝนสุทธิในแบบจำลองนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) การคำนวณปริมาณการไหลผิวดิน (overland flow) ประกอบด้วยแบบจำลองการไหลผ่านอ่างเก็บน้ำคู่เชิงเส้นตรง (double linear reservoir runoff model) คือ การไหลผ่านอ่างเก็บน้ำเชิงเส้นตรง การไหลผิวดินจะคิดจากปริมาณฝนสุทธิ (net rainfall) ของแต่ละพื้นที่รับน้ำ ที่เป็นกราฟน้ำท่าไหลเข้าสู่จุดรับน้ำต่างๆ และใช้วิธีเกี่ยวกับอนุกรมเชิงเส้นคู่แสดงการเก็บละสมของน้ำบนผิวดิน ซึ่งใช้หลักการของ reservoir-routing เป็นการไหลผ่านอ่างเก็บน้ำเชิงเส้นตรงสองอ่าง สำหรับแต่ละประเภทของผิวดินกับความสัมพันธ์ระหว่าง storage-output ของแต่ละอ่างเก็บน้ำ ดังนี้

$$S = kQ \qquad (4.3)$$

เมื่อ $k = C_r i^{-0.39}$ และ $i = 0.5(1+i_{10})$ และ i_{10} = ความเข้มของฝนที่ผ่านมา 10 นาที

$C_r = 0.117\, S_0^{-0.13} A^{0.24}$

s_0 = ความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ (ม./ม.)

A = พื้นที่ (ตร.ม.)

S = อ่างเก็บน้ำ (ลบ.ม.)

เมื่อรวมความสัมพันธ์ระหว่างอ่างเก็บน้ำสองอ่างด้วยสมการต่อเนื่องจะได้สมการเชิงอนุพันธ์กำลังสอง ดังนี้ (Chow, V.T., 1988)

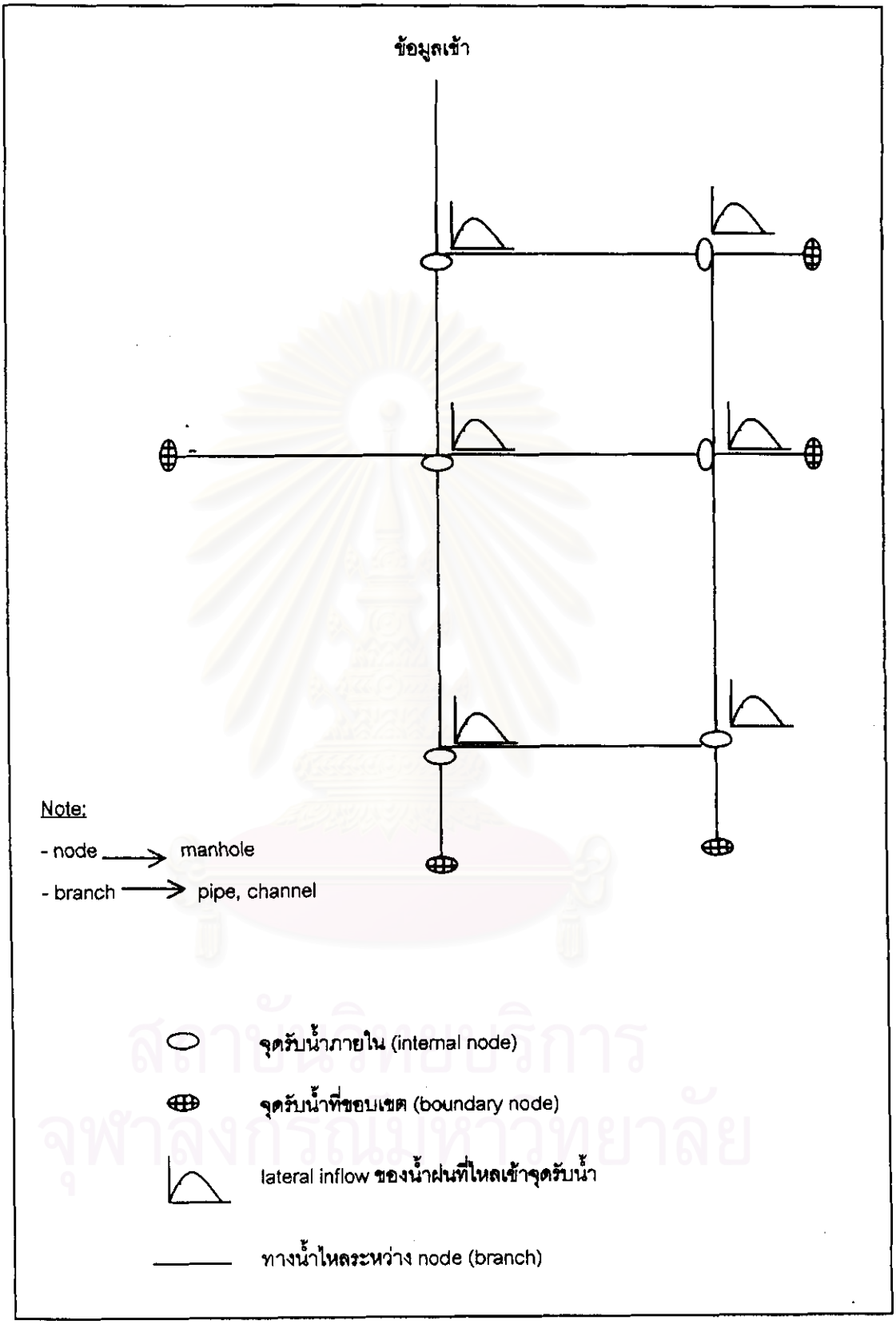
$$k^2 \frac{d^2Q}{dt^2} + 2k\frac{dQ}{dt} + Q = i_n \qquad (4.4)$$

เมื่อ i_n = ปริมาณฝนสุทธิ(มม./ชม.)

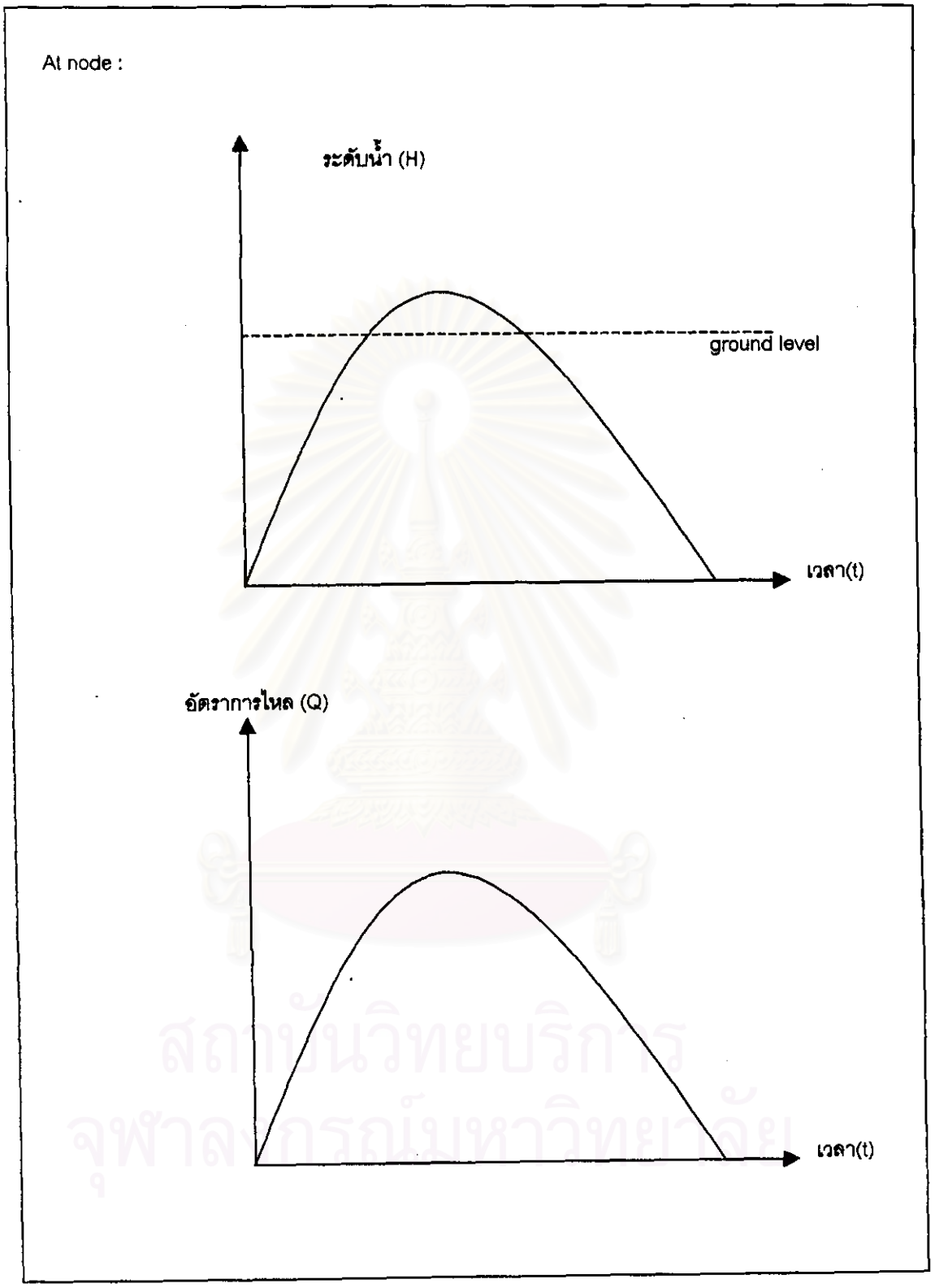
Q = อัตราการไหล(ลบ.ม./วินาที)

ในการศึกษานี้ได้ใช้สมการที่ 4.2b และ 4.4 และข้อมูลการคำนวณหาค่าอัตราการสูญเสียที่ใส่ในแบบจำลองดูในหัวข้อ 5.1.1

2.) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ ใช้จำลองสภาพการไหลของน้ำภายในระบบระบายน้ำดังรูปที่ 4.4 และผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (hydrodynamic model or flow routing model)



รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองอุทกพลศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ ใช้จำลองสภาพการไหลของน้ำภายในระบบระบายน้ำ ซึ่งเป็นการไหลแบบไม่คงที่ (unsteady flow) และเป็นการไหลในหนึ่งมิติ ซึ่งสมการพื้นฐานในการอธิบายการไหลแบบไม่คงที่ คือ สมการต่อเนื่อง (continuity equation) และสมการการเคลื่อนที่ (momentum equation) โดย Saint-Venant (1871) ได้อธิบายการไหลไม่คงที่ในทางน้ำเปิดในหนึ่งมิติ โดยมีสมมติฐานดังนี้ (Chow, V.T.,1988)

1) อัตราการไหลมีทิศทางการไหลแนวเดียว และความเร็วการไหลมีค่าคงที่ตลอดหน้าตัดการไหล
2) ความดันที่จุดใดๆเป็น hydrostatic pressure
3) ใช้สมการของ Manning หาค่าการสูญเสียที่เกิดจากแรงเสียดทาน (friction loss)
4) ให้ความหนาแน่นของน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายใต้ความดันใดๆ (incompressible)
5) ความลาดชันของท้องน้ำมีค่าน้อยมาก ($\tan\varnothing=0$)
6) อัตราการไหลเข้าด้านข้างของทางน้ำเปิด (lateral inflow) ไม่มีความเร็วในทิศทางของการไหล

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์มีสมการที่เกี่ยวข้อง แบ่งได้ดังนี้

1) สมการพื้นฐาน (governing equation) ของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ ประกอบด้วย

1.1) สมการต่อเนื่อง (continuity equation) จะได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0 \qquad (4.5)$$

1.2) สมการการเคลื่อนที่ (momentum equation) จะได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right)+gA\left(S_f-S_0+\frac{\partial y}{\partial x}\right)=0 \qquad (4.6)$$

เมื่อ (Q,y) = ค่าระดับและอัตราการไหลในทางน้ำซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของระยะทาง(x) และเวลา(t)

g = แรงโน้มถ่วงโลก

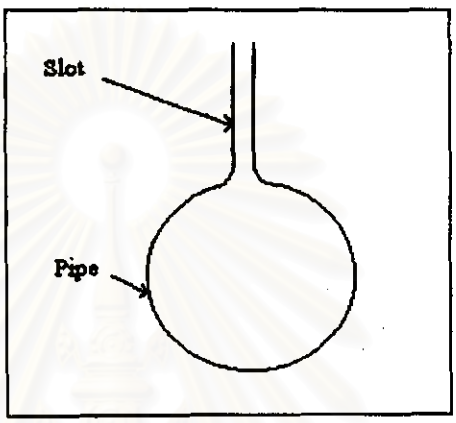
S_f = เส้นลาดพลังงาน

S_0 = ความลาดชันของท่อ/ทางน้ำ

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ/ทางน้ำ

รายละเอียดที่มาของสมการที่ 4.5 และ 4.6 แสดงในภาคผนวก ก.

1.3) สมการปรับแก้ความกว้างสำหรับการคำนวณกรณีการไหลในท่อปิดภายใต้ความดัน การปรับค่าความกว้าง (B) ในพื้นที่หน้าตัดของท่อ คือ ค่าA ในสมการ ซึ่งต่างจากกรณีของผิวน้ำอิสระของทางน้ำเปิด โดยการหาคำตอบของสมการ Saint-Venant สำหรับการไหลท่อปิดภายใต้แรงดันโดยการต่อหลอดตีบ (preissman slot) เข้าไปที่ขอบบนของท่อ ซึ่งช่วยในการศึกษาการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการไหลแบบผิวน้ำอิสระและการไหลท่อปิดที่มีแรงดัน (surcharge) ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 หน้าตัดท่อแบบ Preissman Slot

$$B = \frac{gA_f}{C_p^2} \tag{4.7}$$

เมื่อ B = ความกว้างของผิวน้ำในท่อ (เมตร)

g = แรงโน้มถ่วงโลก (เมตร/วินาที^{2})

C_p = ความเร็วการไหลเต็มท่อ (เมตร/วินาที)

A_f = พื้นที่หน้าตัดของท่อทั้งหมด (ตารางเมตร)

2) สมการอนุพันธ์ (finite difference equation)

ในการจำลองการไหลของน้ำในท่อ อธิบายด้วยสมการพื้นฐานซึ่งอยู่ในรูปสมการอนุพันธ์ (finite difference equation) ในการแก้สมการเหล่านี้ โดยวิธีเชิงตัวเลข (numerical solution) โดยทำให้สมการเหล่านี้อยู่ในรูปสมการผลต่างสืบเนื่องโดยปริยาย (implicit finite difference equation) สำหรับทุกๆจุดในเวลานั้น และใช้วิธี 4-point ในการหาค่าจุดต่างๆ นำมาแทนค่าในสมการการไหลแบบพลศาสตร์ (dynamic routing) ของ Saint-venant จะได้

สมการต่อเนื่อง ดังนี้

$$\theta\left(Q_{i+1}^{j+1}-Q_i^{j+1}\right)+(1-\theta)\left(Q_{i+1}^{j}-Q_i^{j}\right)+\frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j}\left[A_i^{j+1}+A_{i+1}^{j+1}-A_i^{j}-A_{i+1}^{j}\right]=0 \qquad (4.8)$$

สมการโมเมนตัม ดังนี้

$$\frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j}\left(Q_i^{j+1}+Q_{i+1}^{j+1}-Q_i^{j}-Q_{i+1}^{j}\right)$$

$$\theta\left\{\left(\frac{Q^2}{A}\right)_{i+1}^{j+1}-\left(\frac{Q^2}{A}\right)_{i}^{j+1}+g\bar{A}_i^{j+1}\left[y_{i+1}^{j+1}-y_i^{j+1}+\left(\bar{S}_f\right)_i^{j+1}\Delta x_i+\left(\bar{S}_e\right)_i^{j+1}\Delta x_i\right]\right\}$$

$$(1-\theta)\left\{\left(\frac{Q^2}{A}\right)_{i+1}^{j}-\left(\frac{Q^2}{A}\right)_{i}^{j}+g\bar{A}_i^{j}\left[y_{i+1}^{j}-y_i^{j}+\left(\bar{S}_f\right)_i^{j}\Delta x_i\right]\right\}=0 \qquad (4.9)$$

รายละเอียดที่มาของสมการที่ 4.8 และ 4.9 ดูในภาคผนวก ข.

จากสมการที่ 4.8 และ 4.9 มีค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าอยู่ 4 ตัวคือ $Q^{j+1}{}_i$, $Q^{j+1}{}_{i+1}$, $y^{j+1}{}_i$, $y^{j+1}{}_{i+1}$ และตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเหล่านี้มีกำลังที่ไม่เท่ากับหนึ่ง ดังนั้นสมการนี้อยู่ในรูปสมการไม่เชิงเส้น (nonlinear)

3) การหาคำตอบของสมการอนุพันธ์ (finite difference solution)

ระบบสมการไม่เชิงเส้นเป็นฟังก์ชั่นในรูปของตัวที่ไม่ทราบค่า y และ Q ซึ่งมีขั้นตอนการหาคำตอบดังนี้

3.1) แบ่งระยะทางของลำน้ำออกเป็นช่วงๆ มีค่าเท่ากับ Δx (distance interval) โดยมีตำแหน่งหน้าตัดจำนวน N จุด จะได้ทั้งหมด N-1 ช่วง

3.2) แบ่งระยะเวลาการคำนวณออกเป็นช่วงๆ มีค่าเท่ากับ Δt (time step)

3.3) แทนค่าต่างๆลงในสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม สำหรับแต่ละตำแหน่งจุดพิกัดภายใน (internal distance point) ตั้งแต่จุดที่ 2, 3,...,N-1 จะได้สมการทั้งหมด 2N-2 สมการ โดยมีตัวแปรทั้งหมด 2N ตัว

3.4) ใช้เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ทราบค่าระหว่างตัวแปรกับเวลาเป็นสมการเพิ่มเติมอีก 2 สมการ ดังนั้นจะได้สมการทั้งหมด 2N สมการเท่ากับจำนวนตัวแปร

3.5) ทำการหาคำตอบในช่วงเวลาหนึ่งโดยวิธีนิวตันราฟสัน (Newton-Raphson) แล้วจัดให้อยู่ในระบบสมการของผลต่างระหว่างค่าที่แท้จริงและค่าที่สมมติ (dy_1, dQ_1,...,dy_N,dQ_N) จะได้คำตอบที่เวลา j+1 (ถ้า j=1) เราจะทราบค่า Q และ y การหาคำตอบของผลต่าง (dy และ dQ) จะ

ใช้วิธีการแบบเกาส์ (Gaussian elimination) หรือส่วนกลับของเมตริกซ์ในการแก้สมการ ทำซ้ำไปจนกระทั่งมีค่าผลต่างน้อย จะได้

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial UB}{\partial y_1}dy_1 + \frac{\partial UB}{\partial Q_1}dQ_1 = -RUB^k \\
&\frac{\partial C_1}{\partial y_1}dy_1 + \frac{\partial C_1}{\partial Q_1}dQ_1 + \frac{\partial C_1}{\partial y_2}dy_2 + \frac{\partial C_1}{\partial Q_2}dQ_2 = -RC_1^k \\
&\vdots \\
&\frac{\partial C_i}{\partial y_i}dy_i + \frac{\partial C_i}{\partial Q_i}dQ_i + \frac{\partial C_i}{\partial y_{i+1}}dy_{i+1} + \frac{\partial C_i}{\partial Q_{i+1}}dQ_{i+1} = -RC_i^k \\
&\frac{\partial M_i}{\partial y_i}dy_i + \frac{\partial M_i}{\partial Q_i}dQ_i + \frac{\partial M_i}{\partial y_{i+1}}dy_{i+1} + \frac{\partial M_i}{\partial Q_{i+1}}dQ_{i+1} = -RM_i^k \\
&\vdots \\
&\frac{\partial C_{N-1}}{\partial y_{N-1}}dy_{N-1} + \frac{\partial C_{N-1}}{\partial Q_{N-1}}dQ_{N-1} + \frac{\partial C_{N-1}}{\partial y_N}dy_N + \frac{\partial C_{N-1}}{\partial Q_N}dQ_N = -RC_{N-1}^k \\
&\frac{\partial M_{N-1}}{\partial y_{N-1}}dy_{N-1} + \frac{\partial M_{N-1}}{\partial Q_{N-1}}dQ_{N-1} + \frac{\partial M_{N-1}}{\partial y_N}dy_N + \frac{\partial M_{N-1}}{\partial Q_N}dQ_N = -RM_{N-1}^k \\
&\frac{\partial DB}{\partial y_N}dy_N + \frac{\partial DB}{\partial Q_N}dQ_N = -RDB^k
\end{aligned}
\qquad (4.10)
$$

รายละเอียดที่มาของสมการที่ 4.10 ดูในภาคผนวก ค.

3.6) ทำการคำนวณในช่วงเวลาต่อไป ตามข้อ 3.1) ถึง 3.5)

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดแต่ละช่วงเวลาในการคำนวณ (time step) เท่ากับ 60 วินาที

การเกิดน้ำท่วมกำหนดเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับและพื้นที่ผิวเพื่อใช้ในการคำนวณหาในแบบจำลองดังนี้

1) ระดับพื้นดินของพื้นที่ย่อยของจุดรับน้ำในแบบจำลอง กำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าระดับถนนที่จุดเดียวกันกับที่มีการวัดในภาคสนามหรือค่าระดับถนนกับค่าระดับพื้นดินที่อยู่ใกล้เคียงมีค่าเท่ากัน โดยมีสมมติฐานที่ว่า ข้อมูลค่าระดับของพื้นดินที่มีการวัดในภาคสนามเป็นข้อมูลค่าระดับถนน
2) การคิดระดับน้ำท่วมในถนน กำหนดให้เท่ากับค่าระดับน้ำที่จุดรับน้ำที่อยู่จุดเดียวกัน ซึ่งคำนวณได้จาก Hydroworks ความลึกน้ำท่วมคำนวณจาก ค่าระดับน้ำ – ค่าระดับพื้นที่ตรงจุดรับน้ำนั้น

I19246134

หลักการคำนวณของแบบจำลองชลศาสตร์ Hydroworks ในช่วงที่เกิดน้ำท่วม คือระดับน้ำสูงกว่าระดับพื้นดิน ณ จุดรับน้ำใดๆ ปริมาณน้ำในช่วงที่สูงกว่าระดับพื้นดินจะไหลออกมาจากจุดรับน้ำ การคิดปริมาตรจากนั้น แบบจำลองนั้น ใช้ค่าปริมาตรในการคำนวณหาค่าระดับน้ำท่วมจากการใช้ความสัมพันธ์ที่กำหนดในโปรแกรมดูที่ภาคผนวก ง. โดยที่ปริมาตรน้ำส่วนที่ล้นออกมานี้จะไหลเข้าสู่จุดรับน้ำเหมือนเดิมถ้าระดับน้ำลดลง

4.1.2 ลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองชลศาสตร์ Hydroworks

ระบบระบายน้ำจะถูกจำลองให้เป็นโครงข่ายที่ประกอบด้วยจุดรับน้ำ (node) และทางน้ำ (link) ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 4.8

สำหรับการจำลองจุดรับน้ำจะพิจารณาหรือแสดงถึงระดับน้ำที่จุดรับน้ำโดยแบ่งออกได้ 3 อย่างคือ

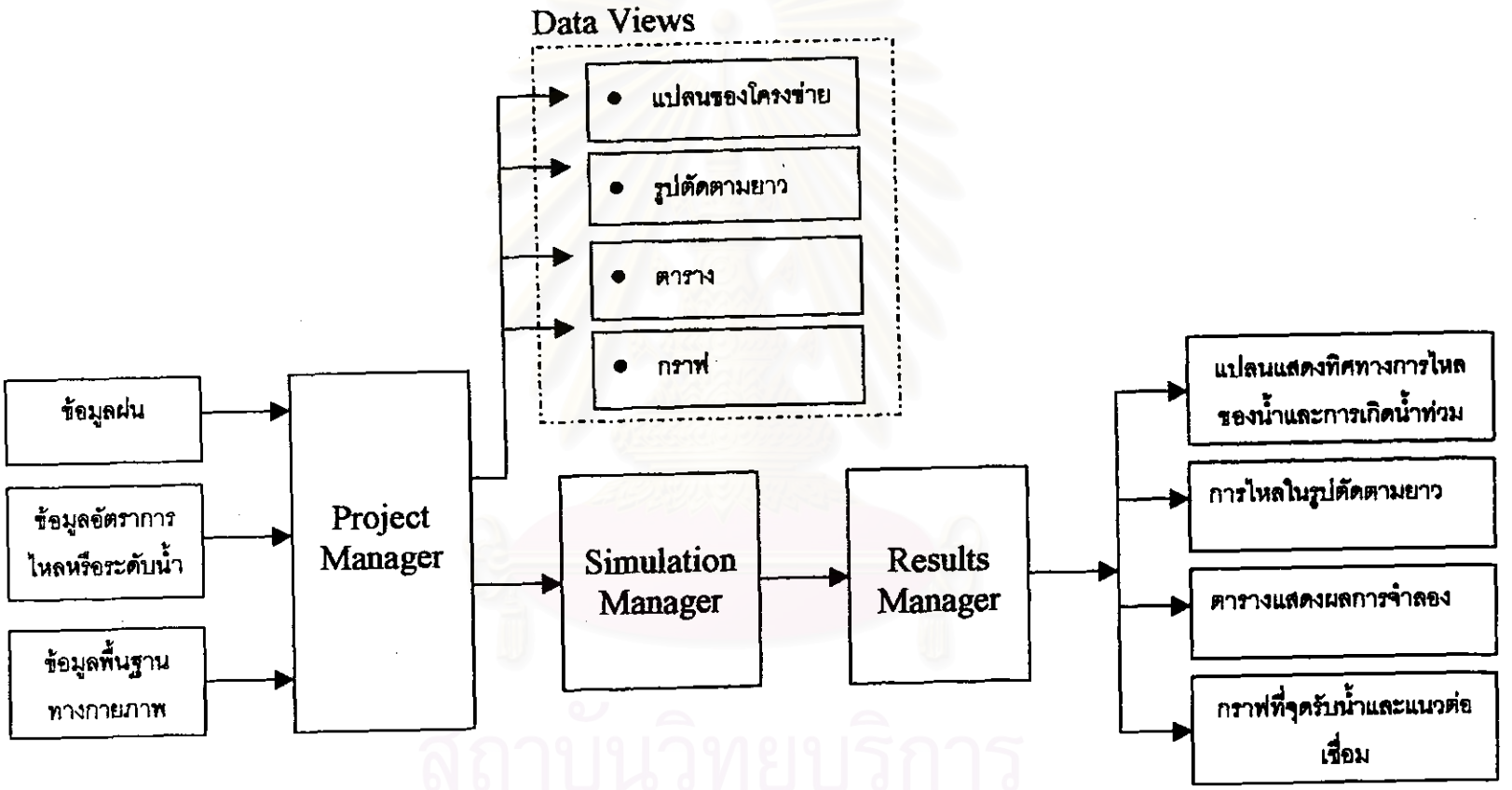
1.) จุดรับน้ำภายใน (internal node) แสดงจุดที่น้ำไหลเข้าระบบหรือจุดเชื่อมระหว่างทางน้ำ
2.) บ่อพักน้ำ (pond) คล้ายกับจุดรับน้ำภายใน แต่จะมีการกักเก็บน้ำ(storage)โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างระดับกับพื้นที่ และน้ำไหลเข้า-ออกจากบ่อพักน้ำได้
3.) จุดน้ำออก (outfall) เป็นจุดที่น้ำออกจากระบบโดยใช้เป็นเงื่อนไขขอบเขต เช่นค่าระดับน้ำในแม่น้ำ คลอง

สำหรับการจำลองทางน้ำจะพิจารณาหรือแสดงถึงอัตราการไหลระหว่างจุดรับน้ำ 2 จุดโดยแบ่งได้ 2 อย่างคือ

1.) ท่อน้ำ (conduit) เป็นท่อปิดหรือทางน้ำเปิดโดยมีความยาวของท่อ
2.) อาคารควบคุมน้ำ (control structure) เป็นการควบคุมอัตราการไหลผ่าน เช่น ฝายหรือสถานีสูบน้ำ

ข้อมูลที่แบบจำลองใช้ประกอบด้วย

1.) ข้อมูลพื้นฐานทางกายภาพ (physical data) ของพื้นที่และโครงข่ายระบบระบายน้ำประกอบด้วย
   - ข้อมูลพื้นที่รับน้ำ ประกอบด้วย ลักษณะการใช้ที่ดิน ลักษณะภูมิประเทศ
   - ข้อมูลของจุดรับน้ำ ประกอบด้วย ระดับผิวดิน, ปริมาตรเก็บกักของพื้นที่รับน้ำและทางระบายน้ำต่างๆ, ตำแหน่งทางราบ (x,y), พื้นที่รับน้ำ, ลักษณะพื้นผิว
   - ข้อมูลของทางน้ำ ประกอบด้วย ประเภทของทางน้ำ, ความยาว, ขนาด, สัมประสิทธิ์การไหล, ระดับท้องของทางน้ำ และอาคารควบคุมน้ำ
2.) ข้อมูลอุทกวิทยา (hydrologic data) ของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลฝน เป็นข้อมูลการกระจายตัวของความเข้มฝน (มม./ชม.) ของกรณีศึกษา
3.) ข้อมูลค่าเริ่มต้น (initial condition) ของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลค่าระดับน้ำที่จุดออกของระบบ (เหนือระดับอ้างอิง) กับเวลา (วินาที)
4.) ข้อมูลขอบเขต (boundary condition) ของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลอัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)



รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองชลศาสตร์ Hydroworks

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระบบระบายน้ำ

1.) เก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

- ข้อมูลทางกายภาพ ประกอบด้วย ข้อมูลพื้นฐานของจุดรับน้ำ พร้อมโครงข่ายของการต่อเชื่อมท่อระหว่างจุดรับน้ำ
- ข้อมูลอุทกวิทยา ประกอบด้วย ข้อมูลฝน ระดับน้ำและอัตราการไหล

2.) ตรวจสอบข้อมูลที่จะนำเข้าแบบจำลองซลศาสตร์ Hydroworks

3.) นำข้อมูลที่ได้เข้าแบบจำลองในรูปของแฟ้มข้อมูลต่างๆ

4.) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เช่นโครงข่ายของระบบและรูปตัดตามยาว

ตารางที่ 4.1 ประเภทของแฟ้มข้อมูลต่างๆที่ใช้ในแบบจำลองซลศาสตร์ Hydroworks

รูปแบบแฟ้มข้อมูล	ความหมาย	หมายเหตุ
.DSD	ข้อมูลรายละเอียดระบบระบายน้ำ	
.DWF	ข้อมูลน้ำเสีย	
.GGS	รายละเอียดของแนวท่อที่ใช้ในการจำลอง	
.LEV	ข้อมูลค่าระดับน้ำ	
.LUD	ข้อมูลประเภทการใช้ที่ดิน	
.PRF	รายละเอียดเกี่ยวกับการหาปริมาณน้ำท่า	
.QIN	ข้อมูลอัตราการไหล	
.WWG	รายละเอียดของข้อมูลน้ำเสียแสดงรูปด้านข้าง	
.RED	ข้อมูลน้ำฝนในเหตุการณ์	
.RTC	ข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินการภายใต้การจำลอง	
.SHP	ข้อมูลรูปร่างท่อที่ไม่มาตรฐาน	
.SIM	ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ประเภทของแฟ้มข้อมูลต่างๆที่ได้จากแบบจำลองชลศาสตร์ Hydroworks

รูปแบบแฟ้มข้อมูล	ความหมาย	หมายเหตุ
.HYD	กราฟแสดงความลึกของน้ำในท่อที่มีการเลือกไว้	
.HYQ	กราฟแสดงอัตราการไหลของน้ำในท่อที่มีการเลือกไว้	
.HYV	กราฟแสดงความเร็วของน้ำในท่อที่มีการเลือกไว้	
.PR1	ผลสรุปก่อนที่จะเริ่มประมวลผล	
.REG	รายละเอียดของการควบคุมน้ำ(สำหรับการดำเนินการภายใต้การจำลอง)	
.SPR	ผลลัพธ์ในรูปของกราฟที่ได้จากการจำลอง	
.TXT	ผลลัพธ์ในรูปของตัวหนังสือที่ได้จากการจำลอง	
.SPH	ลภาพของปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่จุดสุดท้ายของการจำลอง	

ขั้นตอนการสั่งการทำงานของแบบจำลอง

1.) เลือกกรณีศึกษาหรือโครงการที่ได้สร้างในแบบจำลอง
2.) เรียกแฟ้มข้อมูลต่างๆ
3.) ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ เช่น time step, simulation period
4.) สั่งให้โปรแกรมเริ่มต้นคำนวณ (run)

การแสดงผลที่ได้จากการจำลองพฤติกรรมการไหลมี 4 แบบ คือ

1.) แปลน แสดงทิศทางการไหลและการเกิดน้ำท่วมในแต่ละจุดรับน้ำตามเวลาต่างๆ
2.) รูปตัดตามยาว แสดงระดับน้ำในท่อระบายน้ำที่เลือกเทียบกับเวลา
3.) กราฟ แสดงระดับน้ำหรือปริมาณน้ำไหลเข้าเทียบกับเวลา เมื่อเลือกจุดรับน้ำและแนวท่อระบายน้ำจะได้กราฟอัตราการไหล, ความเร็ว, ความลึกน้ำเทียบกับเวลา
4.) ตารางสรุปผล

รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองชลศาสตร์ Hydroworks และ ตัวอย่างการจำลองระบบระบายน้ำดูในภาคผนวก ง.

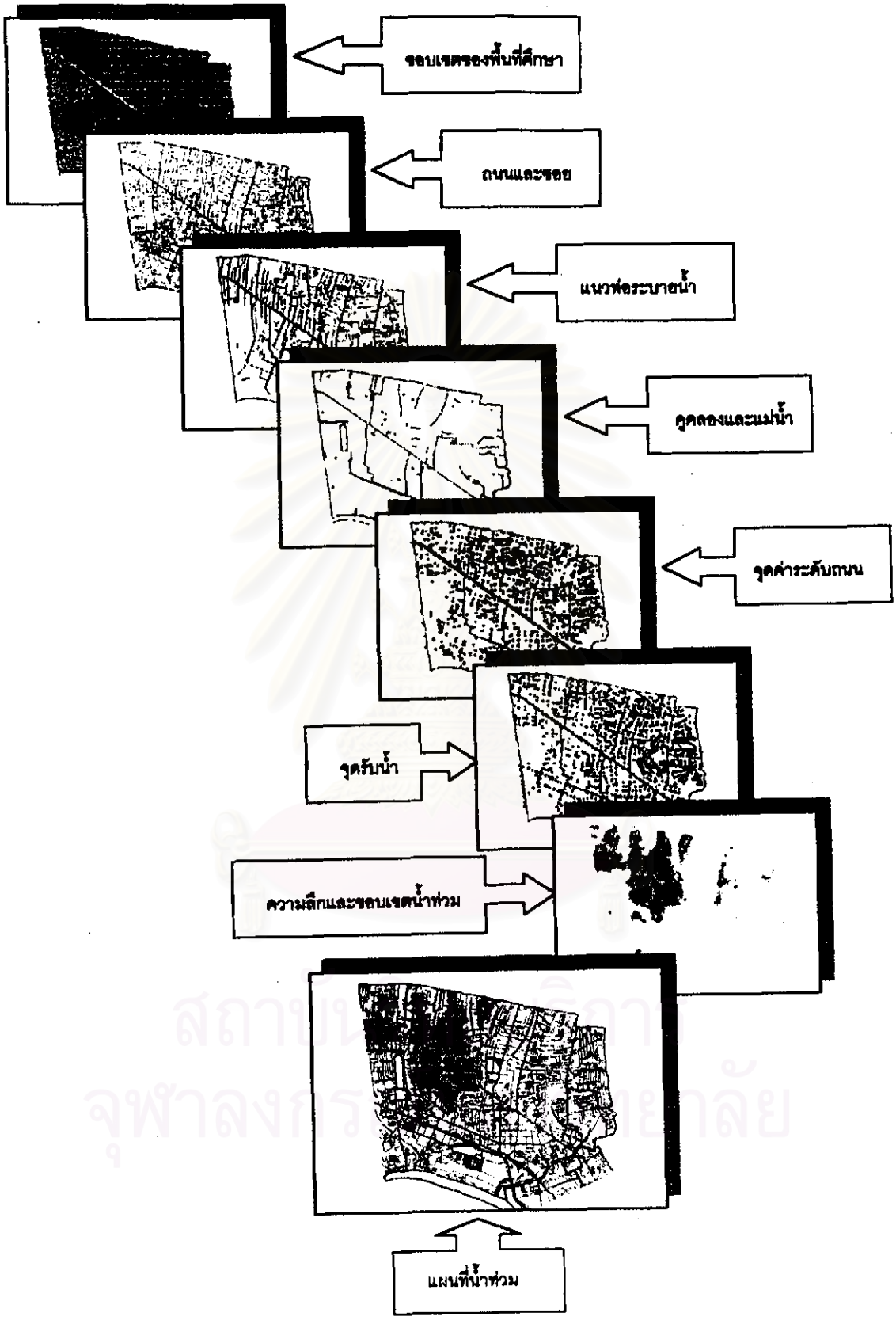
4.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ ที่ออกแบบเพื่อการเข้าข้อมูล การจัดการฐานข้อมูล การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ และแสดงผลข้อมูลในรูปแบบที่สนับสนุนการวางแผนและตัดสินใจเกี่ยวกับพื้นที่ (spatial decision support system) ประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ขึ้นอยู่ที่ความเร็วในการประมวล วิเคราะห์ข้อมูลและความสามารถในการสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่จากข้อมูลแผนที่ เพื่อใช้ในการทำนายสิ่งที่เกิดขึ้น เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเทคโนโลยีค่อนข้างใหม่ที่มีอายุการพัฒนาถึงปัจจุบันไม่มากนักและมีวิวัฒนาการที่ค่อนข้างรวดเร็ว ประกอบกับทั้งมีผู้นำไปประยุกต์ในงานด้านต่างๆหลากหลายสาขา เช่น การวางแผนจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ด้านการวางผังเมือง เช่น กฟน.ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตรในการวางผังสาธารณูปโภคระบบปี 2000 (จุฑาทิพย์ ปาละ, 2542) ทางด้านแหล่งน้ำ เช่น การประเมินสภาพน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำ การแพร่กระจายความเค็มในแหล่งน้ำใต้ดิน เป็นต้น

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกับข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อมูลทางพื้นที่ (spatial data) นั่นคือข้อมูลทุกอย่างที่มีอยู่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถที่อ้างอิงได้กับข้อมูลบนผิวโลกได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม

- ข้อมูลที่อ้างอิงกับผิวโลกทางตรง หมายถึง การอ้างอิงทางภูมิศาสตร์อย่างชัดเจน เช่น ค่าละติจูดและลองติจูด, ค่าตารางพิกัดหรือตำแหน่งจริงบนผิวโลกหรือในแผนที่ เช่น ตำแหน่งอาคาร ถนน เส้นแม่น้ำ เป็นต้น
- ข้อมูลที่อ้างอิงกับผิวโลกทางอ้อม ได้แก่ ข้อมูลของบ้านเรือนที่มีที่อยู่ (รวมทั้งบ้านเลขที่ ชื่อถนน ซอย เขต แขวง จังหวัด และรหัสไปรษณีย์) ได้ถูกใช้เพื่อสร้างการอ้างอิงทางภูมิศาสตร์อย่างชัดเจน จากการอ้างอิงนัยๆ ซึ่งจากที่อยู่นี้เองที่ทำให้เราสามารถที่จะทราบได้ว่าบ้านหลังนี้มีตำแหน่งอยู่ที่ใดบนผิวโลก เนื่องจากทุกบ้านจะมีที่อยู่ไม่ซ้ำกัน

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เสมือนกับการสร้างแบบจำลองของข้อมูลจริงๆบนพื้นโลก (data model) ดังรูปที่ 4.9 การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจำลองข้อมูลเกี่ยวกับโลกเสมือนชุดของชั้นต่างๆ โดยมีโปรแกรมประมวลข้อมูล (operator) หลังจากประมวลผลจะได้ข้อมูลที่แทนข้อมูลของพื้นที่จริงที่อยู่บนผิวโลก (object) ซึ่งทำให้เรา (user) ทราบถึงสิ่งต่างๆที่อยู่บนหรือที่เกิดขึ้นพื้นโลกโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังนั้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงเปรียบเสมือนเครื่องมือ (tool) ที่ใช้ในการประมวลข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ซึ่งอยู่ในรูปของแผนที่หรือข้อมูลแบบอื่นๆ เพื่อให้ได้รายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลที่แตกต่างออกไปเพื่อตอบสนองความต้องการในแต่ละการประยุกต์ใช้งาน



รูปที่ 4.9 การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจำลองชุดข้อมูลเป็นชั้นของข้อมูลต่าง ๆ

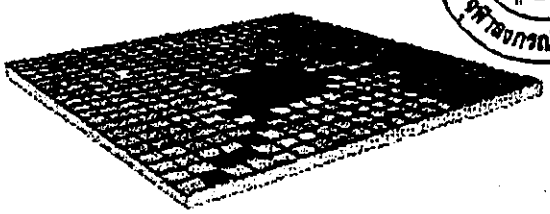
ข้อมูลทางภูมิศาสตร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูลต่างๆบนพื้นโลก เช่น แม่น้ำอยู่ที่ค่าพิกัดที่เท่าไหร่
2) ข้อมูลเชิงพรรณนา (descriptive data หรือ attribute หรือ tabular data) เป็นข้อมูลที่บอกว่าข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เห็นอยู่นั้นมีรายละเอียดอะไรบ้าง เช่น แม่น้ำนี้มีชื่อว่าแม่น้ำเจ้าพระยา มีความยาว 10 กิโลเมตร ความลึก 3 เมตร และมีความกว้าง 4 เมตร เป็นต้น

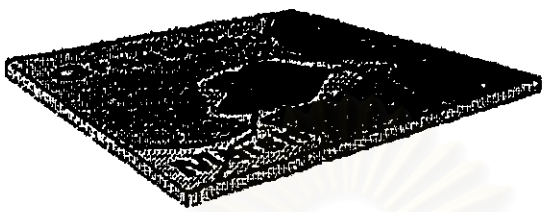
โครงสร้างของข้อมูลเชิงพื้นที่ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มี 2 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.10 ชนิดของรูปแบบจำลองภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันทางพื้นฐานสองชนิด คือ

1) โครงสร้างข้อมูลแบบเวคเตอร์ (vector data structure) ในโครงสร้างข้อมูลแบบเวคเตอร์นั้นตำแหน่งของจุด เส้น หรือพื้นที่ ของแผนที่ถูกบันทึกข้อมูลไว้ในลักษณะของค่าพิกัด (x,y) ในแนวราบของจุดเดียวหรือของจุดทั้งหลายที่ประกอบกันขึ้นเป็นจุด เส้น หรือพื้นที่ กล่าวคือ จุดประกอบด้วยค่าพิกัด (x,y) จุดเดียว เส้นประกอบด้วยจุดหลายๆจุด โดยมีเส้นตรงเชื่อมโยงระหว่าง 2 จุด พื้นที่ คือ เส้นที่มีจุดตั้งต้นและจุดปลายเป็นจุดเดียวกัน ค่าพิกัด (x,y) ของแต่ละจุด นั้นอ้างอิงกับระบบเส้นโครงแผนที่ (map project) ระบบหนึ่งระบบใด (ประเทศไทยใช้อ้างอิงกับระบบ UTM) โดยเก็บได้ 3 รูปแบบดังนี้
   - จุด (point) ใช้แสดงข้อมูลบนพื้นโลกที่เป็นลักษณะของตำแหน่งที่ตั้ง
   - เส้น (line) ใช้แสดงข้อมูลบนพื้นผิวโลกที่เป็นลักษณะของเส้น เช่น แม่น้ำ ถนน เป็นต้น
   - พื้นที่ (area หรือ polygon) ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นลักษณะของพื้นที่ เช่น พื้นที่รับน้ำ แหล่งเก็บน้ำ เป็นต้น
2) โครงสร้างข้อมูลแบบแรสเตอร์ (raster data structure) ในโครงสร้างข้อมูลแบบแรสเตอร์นั้น พื้นที่ของแผนที่ทั้งแผ่น หรือพื้นที่ศึกษา แบ่งออกเป็นกริด (grid หรือ cells) ขนาดเดียวกันทั่วทั้งพื้นที่ โดยเป็นกริดสี่เหลี่ยมจัตุรัสแต่ละกริดจะมีค่าพิกัด (x,y) อ้างอิงกับระบบเส้นโครงแผนที่ เพื่อระบุตำแหน่งของกริดนั้น ในแต่ละกริดจะมีข้อมูลระบุคุณสมบัติที่สนใจในลักษณะข้อมูลเชิงพรรณนาเชื่อมโยงกัน เช่น ค่าความสูงของพื้นที่ในตำแหน่งของกริดนั้น เป็นต้น

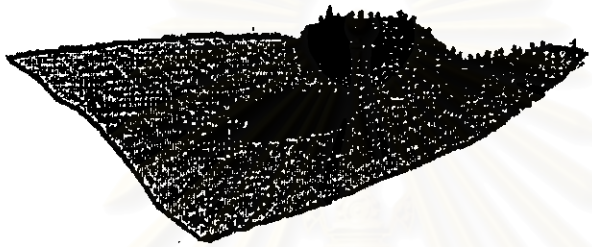
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



โครงสร้างข้อมูลแบบแรสเตอร์



โครงสร้างข้อมูลแบบเวคเตอร์



ข้อมูลเกี่ยวกับโลก

รูปที่ 4.10 ชนิดของรูปแบบจำลองภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันทางพื้นฐานสองชนิด

ลักษณะการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีดังนี้

1) การนำเข้าข้อมูล ซึ่งมีการนำเข้าได้หลายทาง เช่น การดิจิไตส์ (digitize), การสแกนนิ่ง (scanning), การนำค่าจากตารางหรือการพิมพ์เข้าโดยตรง เป็นต้น
2) การจัดการข้อมูล มีระบบการจัดการข้อมูล ซึ่งช่วยในการเก็บและบริหารงานข้อมูล เพื่อการแสดงผลที่รวดเร็วและป้องกันการแก้ไขข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกัน
3) การแสดงผลและการสอบถามข้อมูล ทำให้สามารถสอบถามในลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงพรรณนา เช่นการกำหนดตำแหน่งที่ต้องการแล้วสั่งให้โปรแกรมแสดงข้อมูลเชิงพรรณนาของข้อมูลพื้นที่ที่ได้เลือกไว้ หรือการค้นหาข้อมูลเชิงพรรณนาแล้วทำการแสดงพื้นที่ที่เลือกได้ขึ้นมาที่จอภาพ
4) การวิเคราะห์ข้อมูล มีด้วยกันหลายแบบตามลักษณะการนำไปใช้ ได้แก่
   - การวิเคราะห์แนวกันชน (buffer analysis) เป็นการสร้างขอบเขตของข้อมูลขึ้นมารอบๆข้อมูลที่มีอยู่ เช่น ถ้าในการวิเคราะห์ต้องการกำหนดบริเวณที่อยู่ห่างจากอ่างเก็บน้ำไม่เกิน 10 กม. ให้เป็นเขตที่ใช้ในการสร้างสวนสาธารณะ สิ่งที่ต้องทำ คือ การสร้าง Buffer Zone ล้อมรอบข้อมูลอ่างเก็บน้ำโดยกำหนดให้ระยะทางห่างจากอ่างเก็บน้ำเป็น 10 กม.
   - การเรียงซ้อนข้อมูล (overlay) เป็นการรวมข้อมูลของชั้น (layer) ต่างๆเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีรายละเอียดตามต้องการ แสดงการเรียงซ้อนของข้อมูลการใช้ที่ดิน ตึกอาคาร ท่อระบายน้ำและจุดรับน้ำ เป็นต้น เช่น ถ้าต้องการกำหนดบริเวณที่จะใช้ในการสวนสาธารณะ โดยกำหนดว่าบริเวณที่เหมาะสมควรเป็นบริเวณที่ไม่เป็นเขตที่อยู่อาศัย และอยู่ห่างจากอ่างเก็บน้ำไม่เกิน 10 กม. ทำให้ทราบว่าข้อมูล

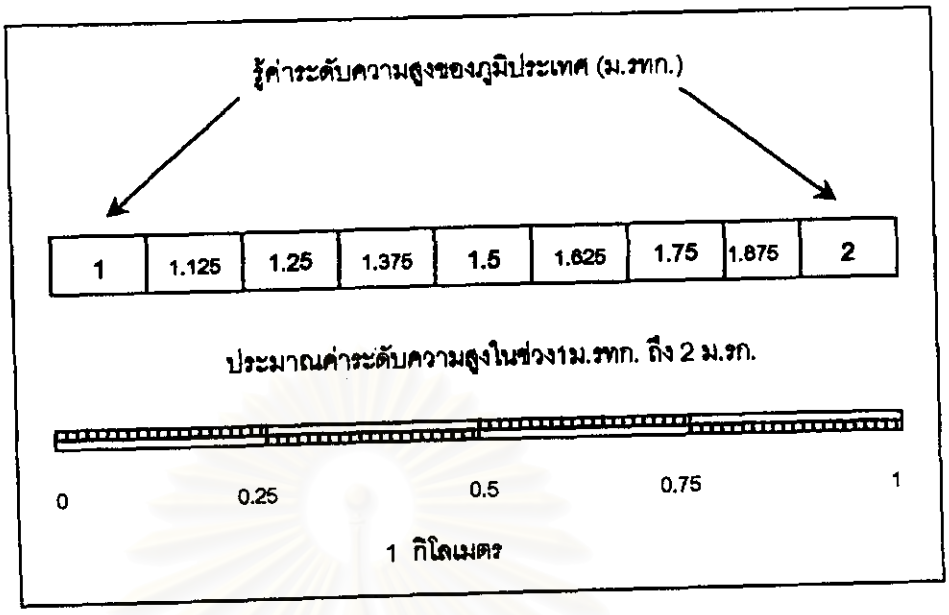
ต่างๆที่จะต้องใช้ในการวิเคราะห์ คือ เขตการใช้ที่ดินและข้อมูลของการวิเคราะห์แนวกันชนที่อยู่ห่างจากอ่างเก็บน้ำเป็นระยะทาง 10 กม. แล้วนำข้อมูลทั้งสองมาทำการเรียงซ้อนข้อมูล จะได้ข้อมูลใหม่ที่รวมเอาข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงพรรณนาของข้อมูลทั้งสองประเภทเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้ทราบว่ามีบริเวณใดบ้างที่เหมาะต่อการสร้างสวนสาธารณะ

- การวิเคราะห์โครงข่าย (network analysis) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ในรูปของเส้นทางต่างๆ เช่น ถนน ท่อประปา เป็นต้น การค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดหรือใช้ระยะเวลาเดินทางน้อยที่สุด โดยใช้แบบจำลอง ArcView network analyst ซึ่งเป็นโปรแกรมเพิ่มเติมใน ArcView GIS
- การวิเคราะห์พื้นผิว (surface analysis) เป็นการนำเอาข้อมูลค่าความสูงของพื้นที่มาสร้างเป็นแบบจำลองของภาพสามมิติ และสามารถที่จะวาดข้อมูลอื่นๆในแผนที่นั้นรวมทั้งภาพดาวเทียม ลงบนภาพสามมิติได้ เพื่อทำให้การตีความหมายของภาพที่เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยใช้มีแบบจำลอง ArcView spatial analyst extension ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระหว่างพื้นผิวและแบบจำลอง ArcView 3D analyst ใช้เพื่อการแสดงข้อมูลพื้นผิวโดยในรูปทรงเรขาคณิตสามมิติแบบเวคเตอร์ (TIN) ซึ่งเป็นโปรแกรมเพิ่มเติมใน ArcView GIS

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง ArcView spatial analyst extension ซึ่งเป็นโปรแกรมเพิ่มเติมใน ArcView GIS เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่ต้องการระยะทางหรือข้อมูลการจำลองพื้นผิวที่ต่อเนื่องเพื่อใช้พิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ โดยสามารถวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างข้อมูลแบบเวคเตอร์และข้อมูลแบบแรสเตอร์ มาช่วยในการสร้างพื้นผิวที่ต่อเนื่องจากจุดที่กระจัดกระจายและการคำนวณทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลของขั้นต่างๆ ในการศึกษานี้ต้องรู้ค่าระดับความสูงของสภาพภูมิประเทศและค่าระดับของผิวน้ำที่สูงขึ้นในแต่ละจุดรับน้ำ เพื่อใช้ในการสร้างพื้นที่น้ำท่วม และใช้การเรียงซ้อนของข้อมูลพื้นฐานต่างๆเพื่อเพิ่มรายละเอียด

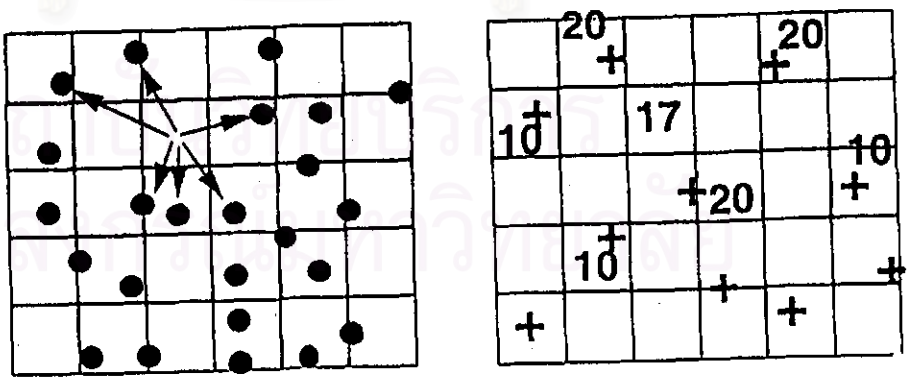
การสร้างพื้นผิวที่ต่อเนื่องจากจุดที่กระจัดกระจายซึ่งได้จากโปรแกรม ArcView spatial analyst จะใช้วิธีประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น (linear interpolation) เป็นการประมาณค่าพื้นฐาน ดังรูปที่ 4.11 เป็นการประมาณค่าจากกริดหรือเซลที่มีค่า 2 จุด

สำหรับตัวอย่างนี้ที่ระยะ 0 กิโลเมตรจะมีค่าระดับความสูงเท่ากับ 1 ม.รทก. และที่ระยะทาง 1 กิโลเมตรจะมีค่าระดับความสูงเท่ากับ 2 ม.รทก. ดังนั้นการประมาณค่าจะคำนวณจากระยะทางระหว่างสองจุด จะได้ที่ระยะ 0.5 กิโลเมตรมีค่าระดับความสูงเท่ากับ 1.5 ม.รทก.และการหาค่าอื่นๆ จะหาได้จากการคำนวณสัดส่วนของระยะทางระหว่างสองจุดที่รู้ค่า



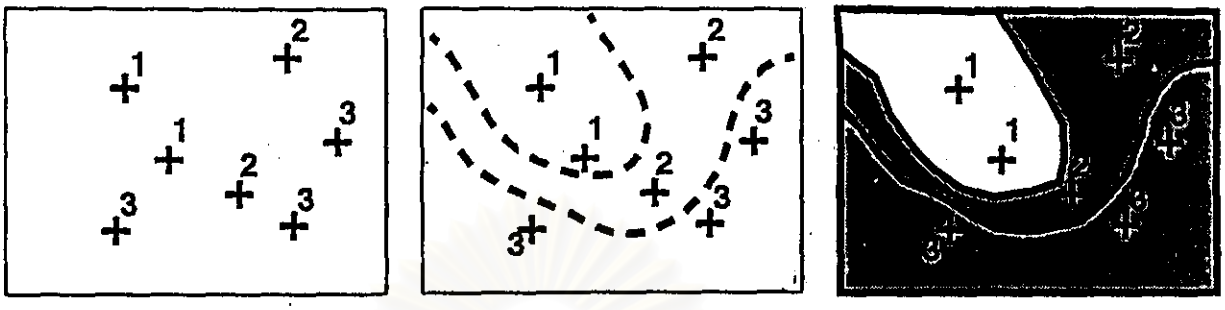
รูปที่ 4.11 วิธีการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น

สำหรับการสร้างพื้นผิวที่ต่อเนื่อง ใช้การประมาณค่าเชิงพื้นผิว (surface interpolation) ดังรูปที่ 4.12 เป็นการประมาณค่าเชิงพื้นผิวโดยการเลือกจุดที่อยู่ใกล้ๆกับจุดที่ต้องการทราบค่ามาพิจารณาหาค่า (nearest neighbors) โดยการกำหนดจำนวนจุดรอบๆกริดที่ต้องการทราบค่าจำนวน 6 จุด มาพิจารณาหาค่า เช่น ที่กริดหมายเลข 17 เป็นกริดที่ไม่ทราบค่า ดังนั้นในการประมาณค่าเชิงพื้นผิว จะใช้ค่าที่อยู่รอบๆจุดนั้นมาพิจารณา คือ ค่า 10, 20, 20, 10, 20 และ10 มาพิจารณาหาค่า จะได้เท่ากับ 17



รูปที่ 4.12 การประมาณค่าเชิงพื้นผิวโดยการเลือกจุดที่อยู่รอบๆมาพิจารณา

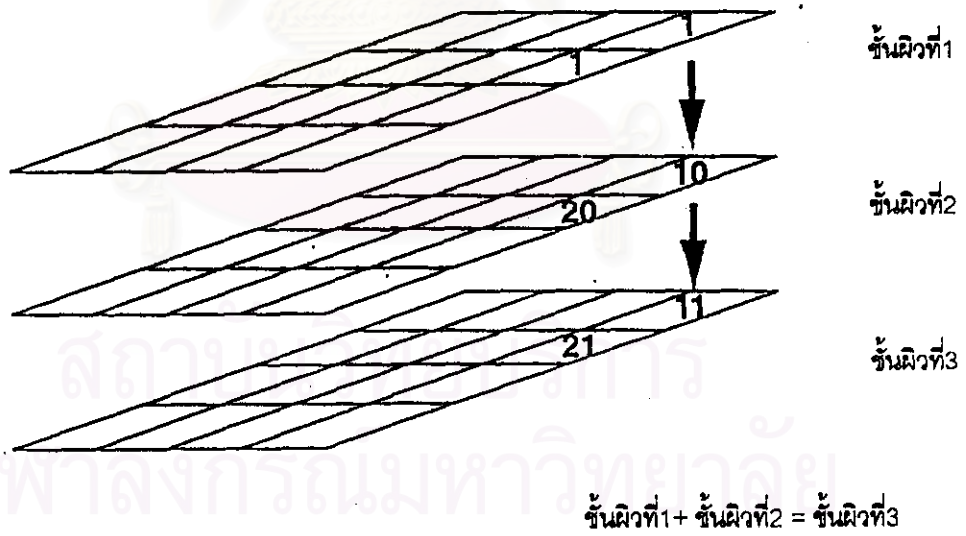
หลังจากที่ได้ค่าทุกๆจุดในพื้นที่ นำจุดต่างๆเหล่านั้นมาสร้างพื้นที่ของความสูงชั้นต่างๆหรือเส้นชั้นความสูง ดังรูปที่ 4.13 การสร้างพื้นผิวจากจุดต่างๆ



ตัวอย่างจุดต่างๆ การสร้างเส้นชั้นความสูง การสร้างช่วงชั้นความสูง

รูปที่ 4.13 การสร้างพื้นผิวจากจุดต่างๆ

เมื่อพื้นผิวค่าระดับความสูงของสภาพภูมิประเทศและพื้นผิวค่าระดับของน้ำถูกสร้างเสร็จ หลังจากนั้นใช้การคำนวณระหว่างชั้นผิวของแต่ละกริด ดังรูปที่ 4.14 การคำนวณระหว่างชั้นผิว ซึ่งชั้นที่ 1 เป็นค่าระดับพื้นดินและชั้นที่ 2 เป็นค่าระดับน้ำ และชั้นที่ 3 เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระหว่างชั้นที่ 1 และ 2 สำหรับในการศึกษานี้จะได้แผนที่น้ำท่วม



รูปที่ 4.14 การคำนวณระหว่างชั้นผิว

ในบทต่อไปเป็นการจัดสร้างการต่อเชื่อมกันของแบบจำลองชลศาสตร์กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งหลักการและทฤษฎีของแต่ละแบบจำลองมีการอธิบายแล้วในบทนี้ บทที่5 อธิบายขั้นตอนในการต่อเชื่อมกันของข้อมูลเพื่อการแสดงผล